Model symulacji — raport częściowy — Projekt MOPS

Błażej Sewera, Mateusz Winnicki, Wojciech Kowalski

1 grudnia 2020

Projekt MOPS

Cele projektu

Celem projektu jest zasymulowanie węzła lub systemu dwóch węzłów sieciowych, obsługujących n źródeł ruchu typu ON-OFF, zdolnych generować pakiety o stałej długości L w stanie ON.

Każdy węzeł sieciowy modelujemy jako nieskończoną kolejkę FIFO, każdy ma podłączoną dowolną liczbę źródeł ruchu.

Wartości teoretyczne

Liczba pakietów w stanie ON jest opisywana rozkładem geometrycznym o funkcji rozkładu prawdopodobieństwa:

$$n_{ON} = (1 - p_{ON})^{k-1} p_{ON}$$

$$n_{ONavg} = \frac{1}{p_{ON}}$$

gdzie n_{ON} to liczba pakietów przesłana w jednej iteracji stanu ON. Odstęp między pakietami (czas interwału) jest stały i wynosi t_{int}.

Wtedy średni czas trwania stanu ON:

$$t_{ONavg} = \frac{t_{int}}{p_{ON}} + t_{prog}$$

gdzie t_{prog} to dodatkowy czas wprowadzany przez ograniczenia narzędzi programistycznych, implementacji i sprzętu, który ze względu na małą wartość dla uproszczenia pominiemy.

Średnia liczba bitów wysłanych przez źródło podczas jednego stanu ON wynosi:

$$n_{b\,avg} = \frac{L}{p_{ON}}$$

Długość stanu OFF opisana jest rozkładem wykładniczym.

$$t_{OFF} = \lambda e^{-\lambda t}$$

$$t_{OFFavg} = \frac{1}{\lambda}$$

W tym projekcie, dla uproszczenia posłużymy się analogicznym rozkładem geometrycznym dla długości stanu OFF, tylko w odróżnieniu od stanu ON, nie symulujemy wysyłania pakietów, a jedynie uwzględniamy interwał pomiędzy kolejnymi iteracjami tego stanu, czyli de facto bezczynnością.

$$t_{OFFavg} = \frac{1}{p_{OFF}} \cdot t_{int}$$

Z racji że stany ON i OFF następują naprzemiennie, średni czas trwania tych dwóch stanów:

$$t_{ON\,OFF\,avg} = \frac{t_{int}}{p_{ON}} + \frac{t_{int}}{p_{OFF}} = \frac{t_{int} \cdot (p_{ON} + p_{OFF})}{p_{ON} \cdot p_{OFF}}$$

Na podstawie powyższych danych można obliczyć średnią przepływność generowaną przez jedno źródło:

$$BR_{avg} = \frac{n_b}{t_{ON\,OFF\,avg}} = \frac{Lp_{ON}p_{OFF}}{t_{int}p_{ON}(p_{ON} + p_{OFF})}$$

Zatem średnia szybkość napływu pakietów:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{BR_{avg}}{L} = \frac{p_{ON}p_{OFF}}{t_{int}p_{ON}(p_{ON} + p_{OFF})}$$

Więc przewidywany czas pomiędzy pakietami to:

$$\lambda = \frac{t_{int}p_{ON}(p_{ON} + p_{OFF})}{p_{ON}p_{OFF}}$$

Z racji że czas obsługi jednego pakietu jest stały ze względu na jego stałą szerokość, średni czas obsługi jest taki sam i wynosi μ.

Średnie obciążenie systemu:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{t_{int}p_{ON}(p_{ON} + p_{OFF})}{p_{ON}p_{OFF}\mu}$$

Prawdopodobieństwo, że w kolejce jest n pakietów, ma rozkład geometryczny:

$$P_n = (1 - \rho)\rho^n = \mathrm{Geo}(1 - \rho)$$

Badane metryki pomiarowe

- Średnia liczba pakietów w kolejce l_{queue},
- średni czas oczekiwania w kolejce t_{wait},
- średnie opóźnienie przekazu pakietu, definiowane jako średnia suma czasu, oczekiwania w kolejce oraz czasu odebrania całego pakietu przez węzeł sieciowy. Jako że długość pakietu jest stała i wynosi L, czas odebrania pakietu przez węzeł również będzie stały $t_{delay} = t_{wait} + T_{receive}$,
- średnie obciążenie serwera.

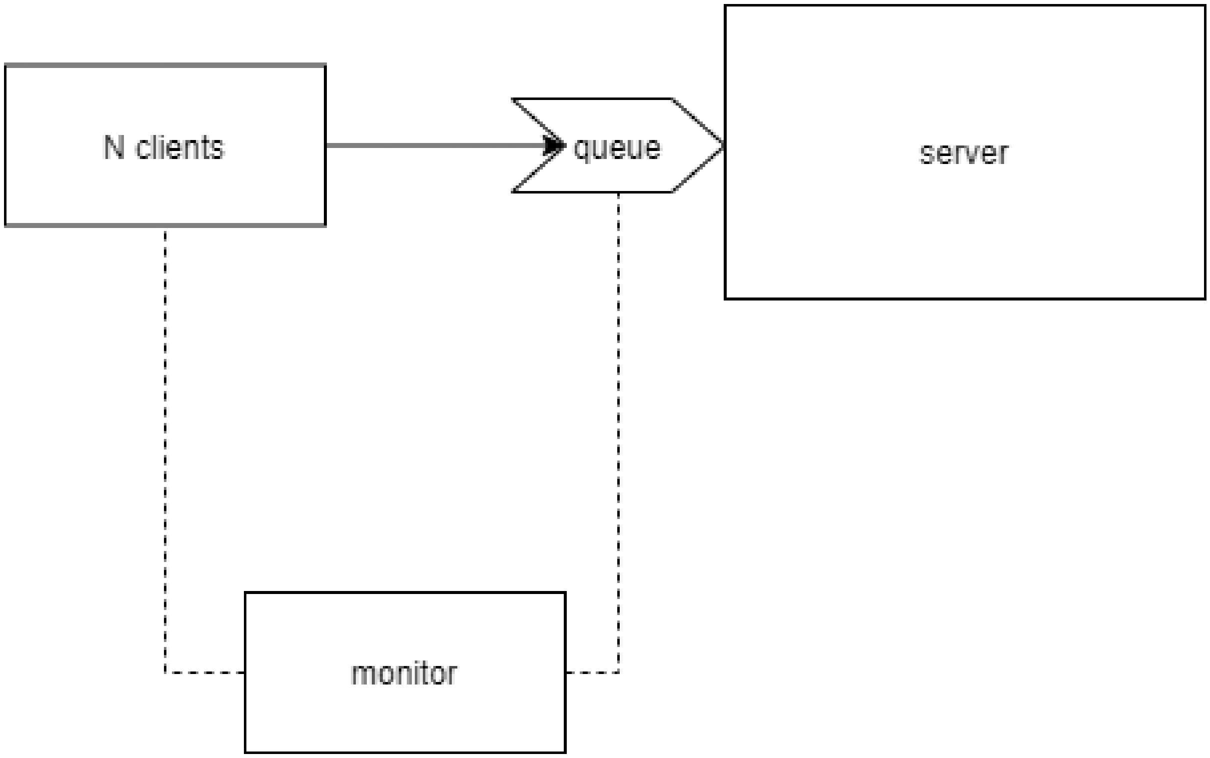
Przedstawiony model zaimplementujemy w języku programowania Python.

Scenariusze

- Scenariusz I - jeden węzeł sieciowy obsługujący N klientów
- Scenariusz II - system dwóch węzłów sieciowych połączonych wąskim gardłem obsługujących odpowiednio N i K klientów

Automat przedstawiający nadawcę ON/OFF

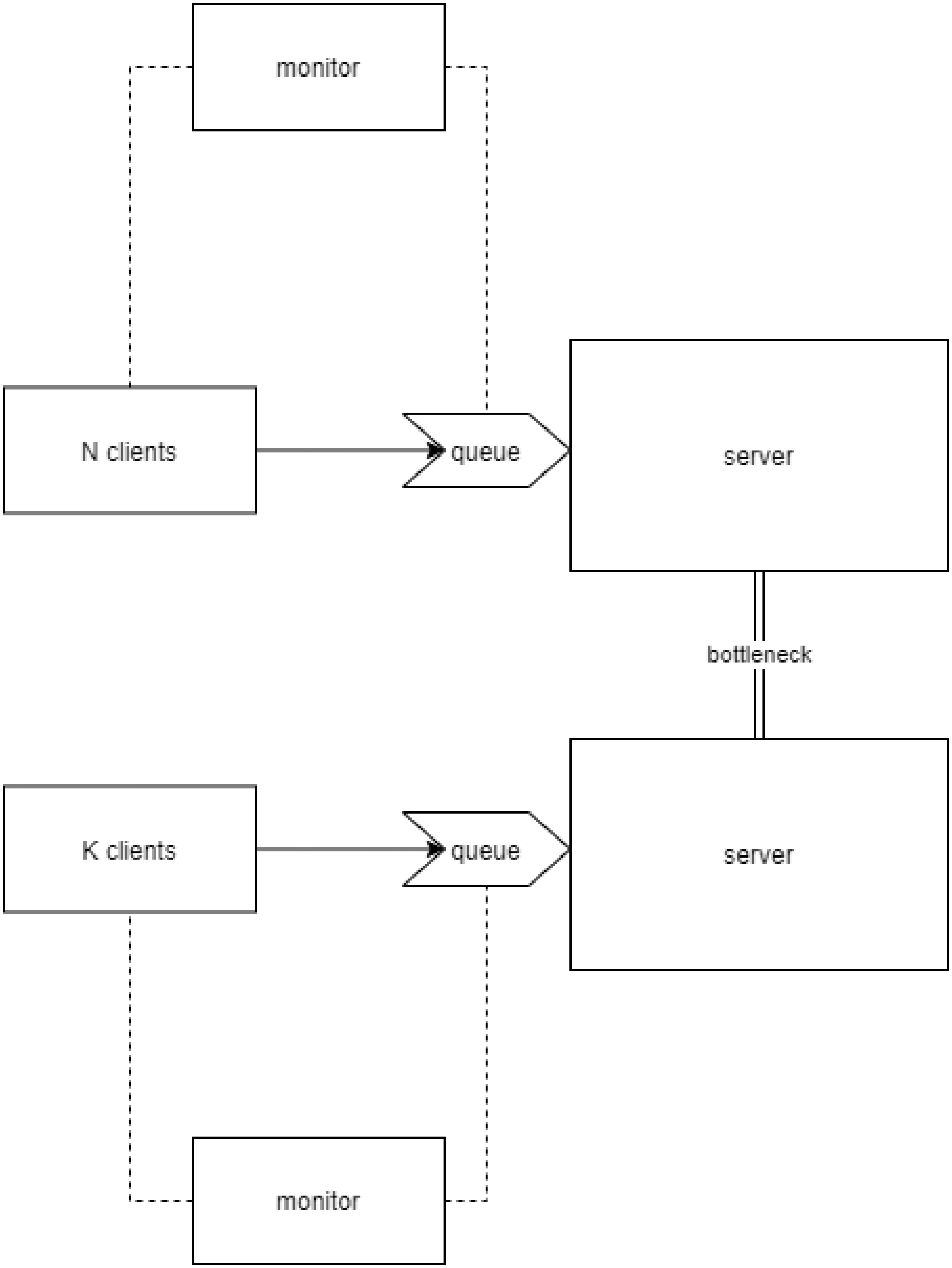
Jeden stan będzie trwał T (np. 0.01s)



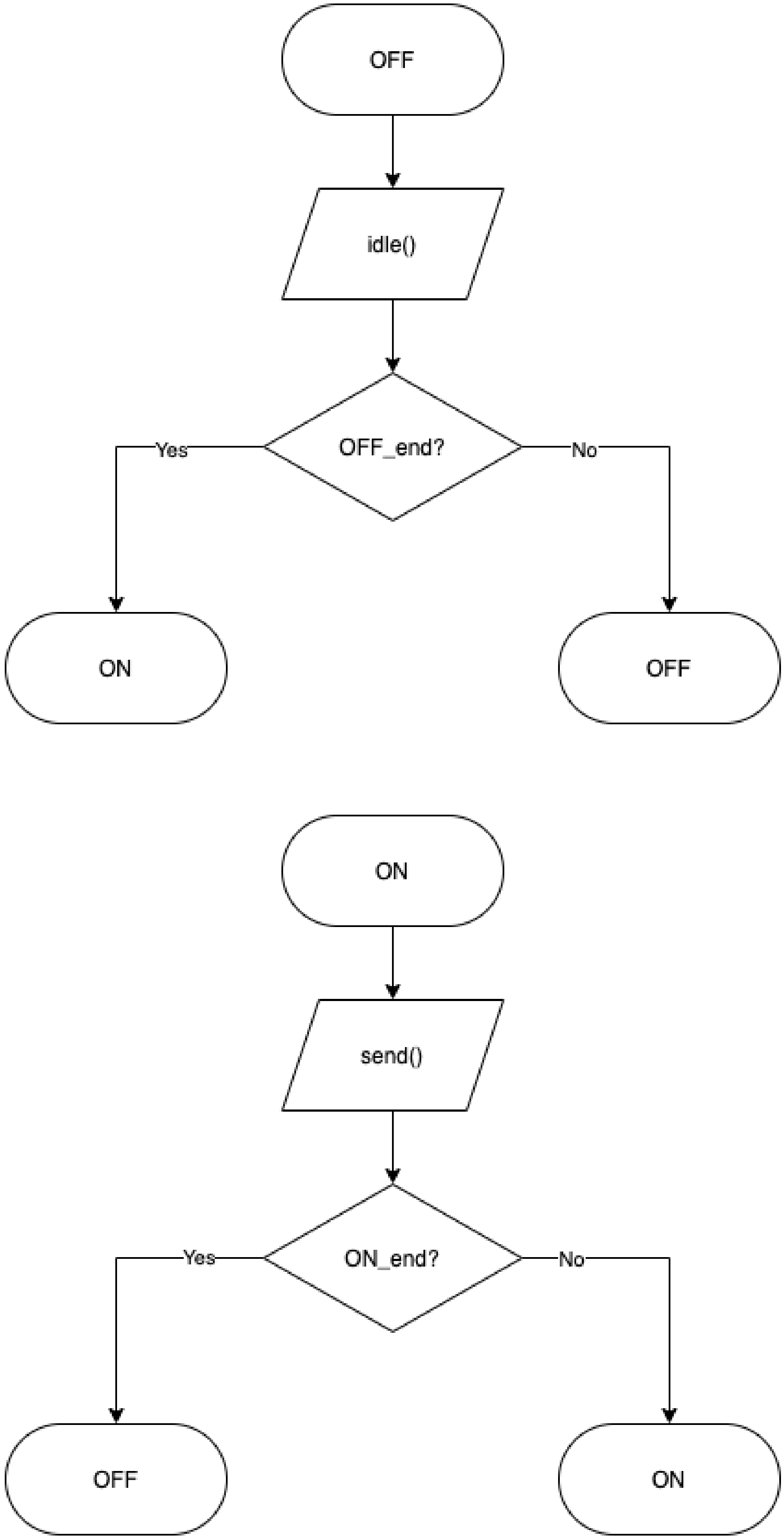
Rysunek 1: Scenariusz I

Poglądowa implementacja takiego automatu

```python
import numpy as np
import time


def idle(iterations, T):
    for i in range(iterations):
        print(f'Idle {i+1}/{iterations}')
        time.sleep(T)


def send(iterations, T):
    for i in range(iterations):
        # send data
        print(f'Sent packet {i+1}/{iterations}')
        time.sleep(T)


def main():
    T = 0.1  # state duration: 0.1s
    p_off = 0.7
    p_on = 0.3
    current_time = time.time_ns()
    end_time = current_time + 3e9  # simulation duration: 3s

    while current_time < end_time:
        off_iterations = np.random.geometric(p_off)
        idle(off_iterations, T)
```



Rysunek 2: Scenariusz II



Rysunek 3: Automat przedstawiający nadawcę ON/OFF

```
        on_iterations = np.random.geometric(p_on)
        send(on_iterations, T)

        current_time = time.time_ns()


if __name__ == "__main__":
    main()
```

Przykładowe działanie automatu doboru długości stanów

Przyjęliśmy czas trwania 1 iteracji na 0.1s i czas symulacji na 3s.

```
Idle 1/1
Sent packet 1/1
Idle 1/2
Idle 2/2
Sent packet 1/1
Idle 1/1
Sent packet 1/12
Sent packet 2/12
Sent packet 3/12
Sent packet 4/12
Sent packet 5/12
Sent packet 6/12
Sent packet 7/12
Sent packet 8/12
Sent packet 9/12
Sent packet 10/12
Sent packet 11/12
Sent packet 12/12
Idle 1/2
Idle 2/2
Sent packet 1/4
Sent packet 2/4
Sent packet 3/4
Sent packet 4/4
Idle 1/1
Sent packet 1/1
Idle 1/1
Sent packet 1/3
Sent packet 2/3
Sent packet 3/3
```

Uproszczenia przyjęte w projekcie

- Nie tworzymy nowego procesu dla każdego klienta, ponieważ nie mamy na celu symulować realnej komunikacji klient-serwer; zamiast tego będziemy agregować teoretyczną ilość danych wysyłanych przez klienty znajdujące się w stanie OFF.
- Z racji tego, że zakładana kolejka K jest nieskończona, za stracone uznawać powinniśmy tylko pakiety, które nie zostały odebrane. W projekcie nie symulujemy jednak odbierania pakietów z określonym prawdopodobieństwem, więc poziom strat pakietów, definiowany jako stosunek różnicy pakietów wysłanych i odebranych do liczby pakietów wysłanych byłby zawsze równy zero.
- Zamiast liczyć czas, dzielimy go na określone kwanty, dzięki czemu implementacja jest analogiczna do funkcji send()

Źródła

- Laboratorium sieci usługowych - pomiary w sieciach IP http://aai.tele.pw.edu.pl/data/SWUS/swus_lab_pomiary.pdf
- Fragmenty materiałów wykładowych z przedmiotu Rachunek Prawdopodobieństwa PWR http://prac.im.pwr.wroc.pl/~wkosz
- Wikipedia - strony poświęcone m.in. Teorii kolejek i stronach pochodnych https://en.wikipedia.org/wiki/Queueing_theory
- Wykład MOPS, ze szczególnym uwzględnieniem tematów 5 i 6